



태양 송배자와 선동가

케플러와 갈릴레오

코페르니쿠스 혁명의 난점

- ▶ 코페르니쿠스의 이론은 현대의 이론과 무척 다름. 그렇다면 누가 어떻게 그의 이론을 수정했는가?
- ▶ 코페르니쿠스의 이론은 프톨레마이오스의 이론에 비해 정확하지도 그리 단순하지도 않음. 그렇다면 어떻게 혁명에서 승리할 수 있었을까?

《회전에 관하여》에 대한 반응

- ▶ 복잡성과 부정확성에 실망
- ▶ 제2의 프톨레마이오스!
- ▶ “지구가 돈다”는 핵심 가설에 부정적
- ▶ 계산을 위한 도구로만 사용해보자.
- ▶ 기독교에서는 공식적인 반대가 없었음.



티코 브라헤(1546-1601)

.....

- ▶ 덴마크 귀족 출신의 천문학자 겸 점성술사 겸 연금술사
- ▶ 일찍이 천문학 자료 섭렵 후, 신뢰할 만한 새로운 자료가 필요함을 깨닫고 꾸준한 정밀 관측 시작
- ▶ 신성과 혜성의 관측으로 실력을 인정받아 신성 로마 제국의 공식 천문학자가 됨
- ▶ 지구 중심의 절충적 체계 제시
- ▶ 《신성에 관하여》(1573), 《새로운 천문학 입문》(1587-1588)

Tycho Brahe's Golden Nose

신성(1572)과 혜성(1577)의 관측

- ▶ 시차 측정을 통해 신성과 혜성이 달 위에 있다는 것을 보임
- ▶ 천상계의 불멸성과 수정 천구에 대한 의심

A caput Cassiopeæ
B pectus Schedir.
C Cingulum
D flexura ad Ilia
E Genu
F Pes
G suprema Cathedræ
H media Chatedræ
I Noua stella.



Distantiã verò huius stellæ à fixis aliquibus
in hac Cassiopeiæ constellatione, exquisito instrumento,
et omnium minutorum capacj, aliquoties obseruau. In-
ueni autem eam distare ab ea, quæ est in pectore, Schedir
appellata B, 7. partibus et 55. minutis: à superiori
verò



티코 체계

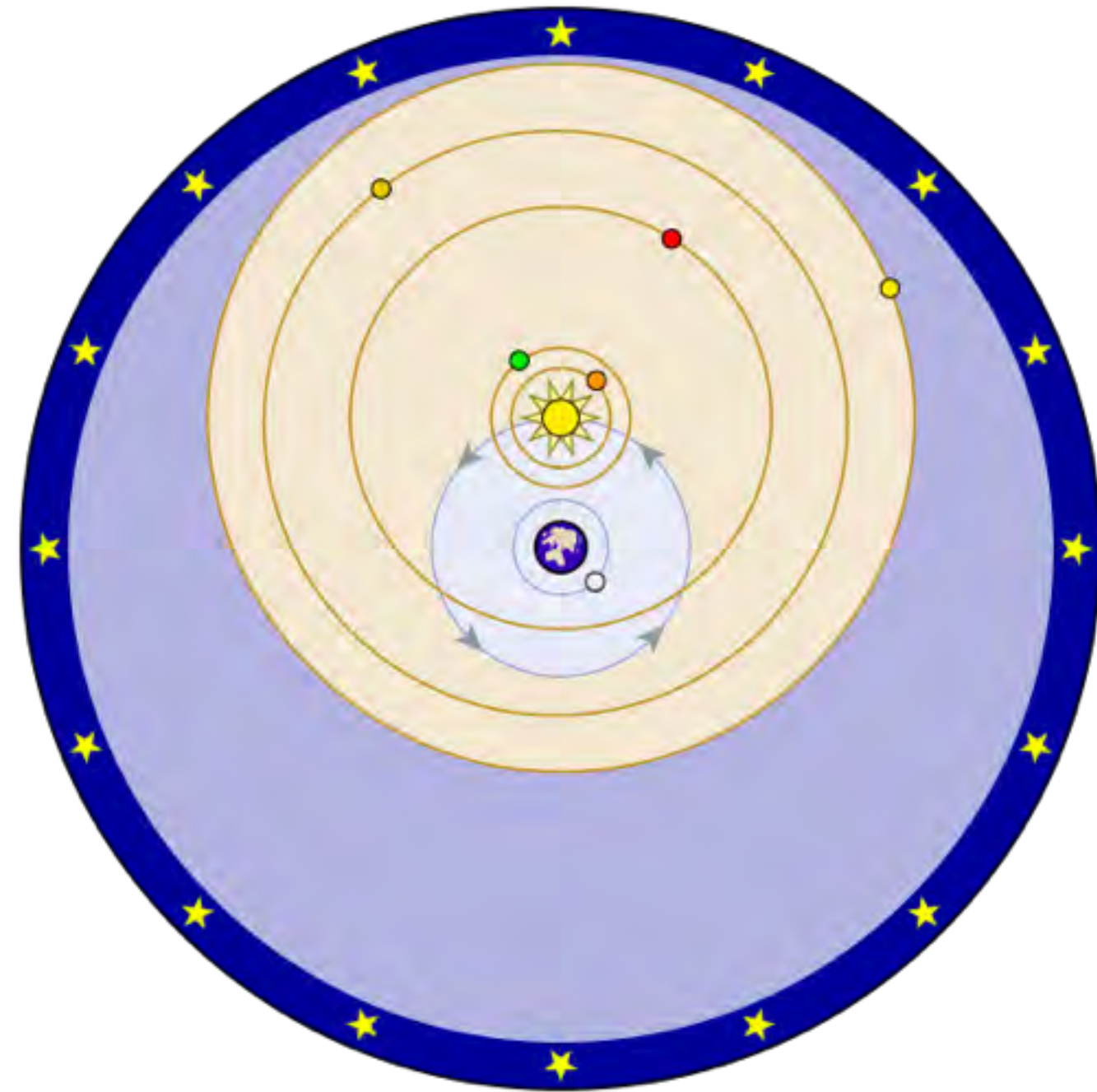
.....

➤ 절충적인 제안

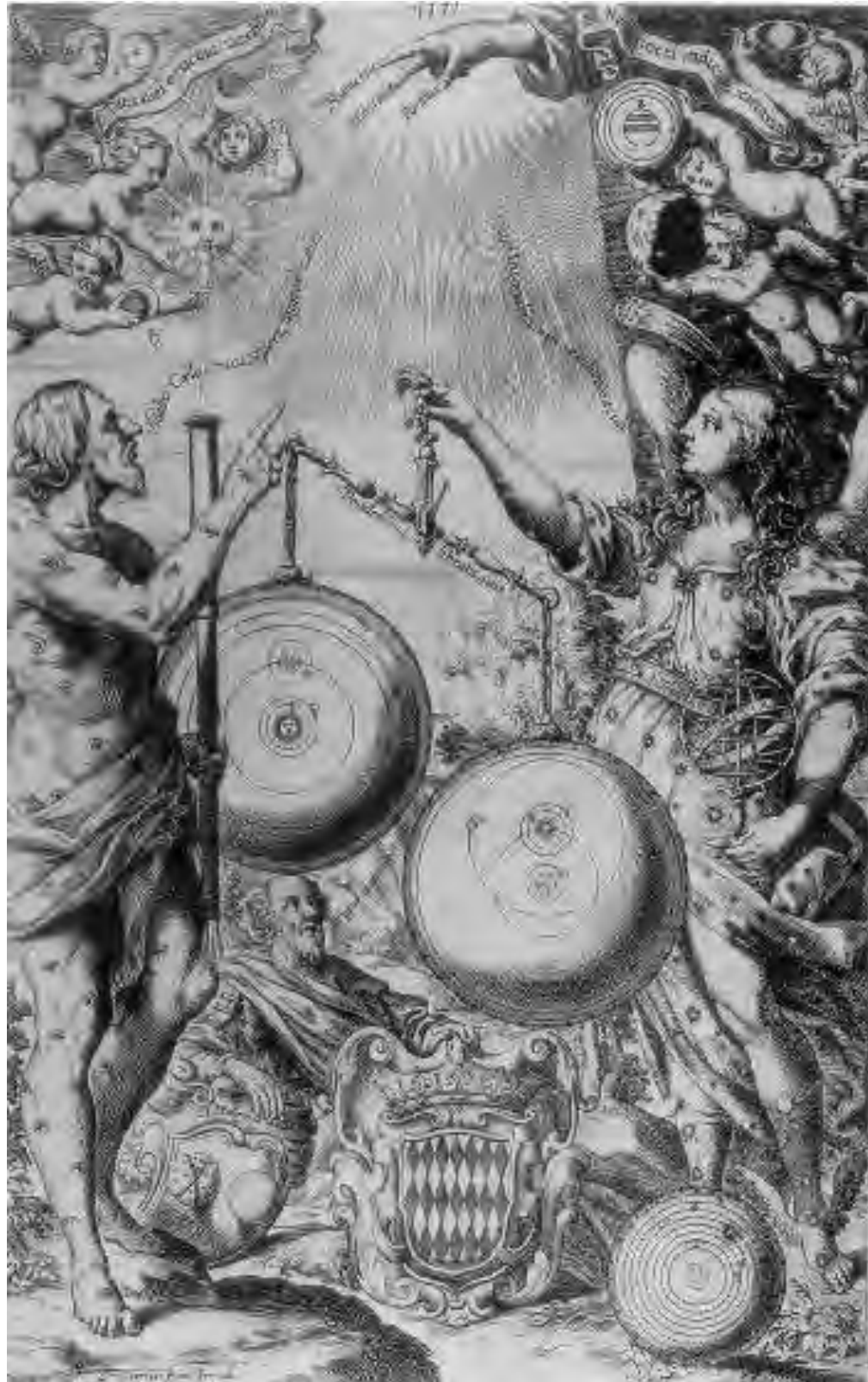
➤ 달/태양/별은 지구를 돌고,
나머지 행성은 태양을 돈다.

➤ 혁신적인 제안

➤ 수정체 행성 천구 개념 폐기



티코 체계에 대한 당대의 반응



정밀 관측 천문학의 시작



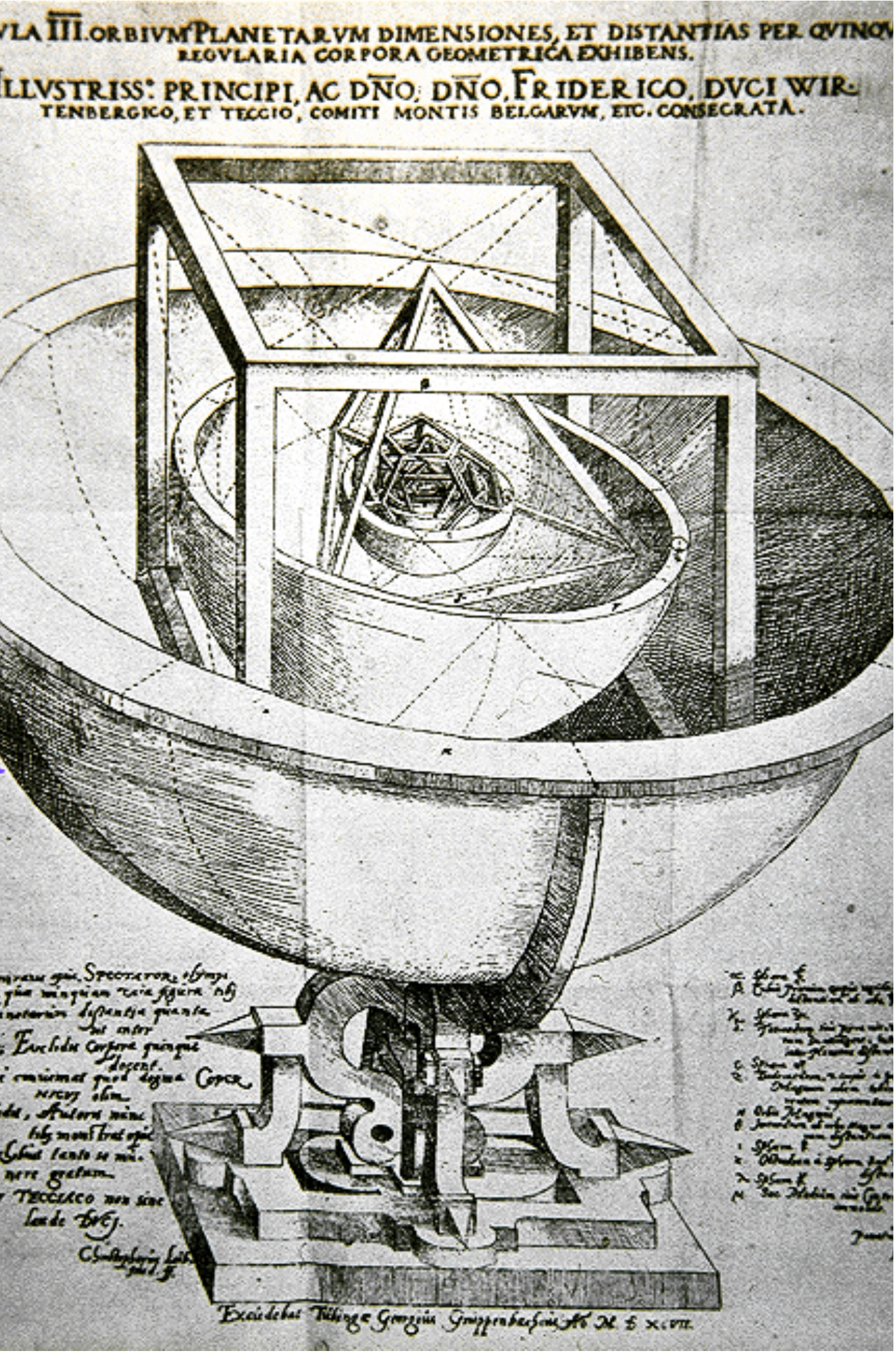
Uraniborg main building. Copper etching from Blaeu's Atlas Major, 1663.



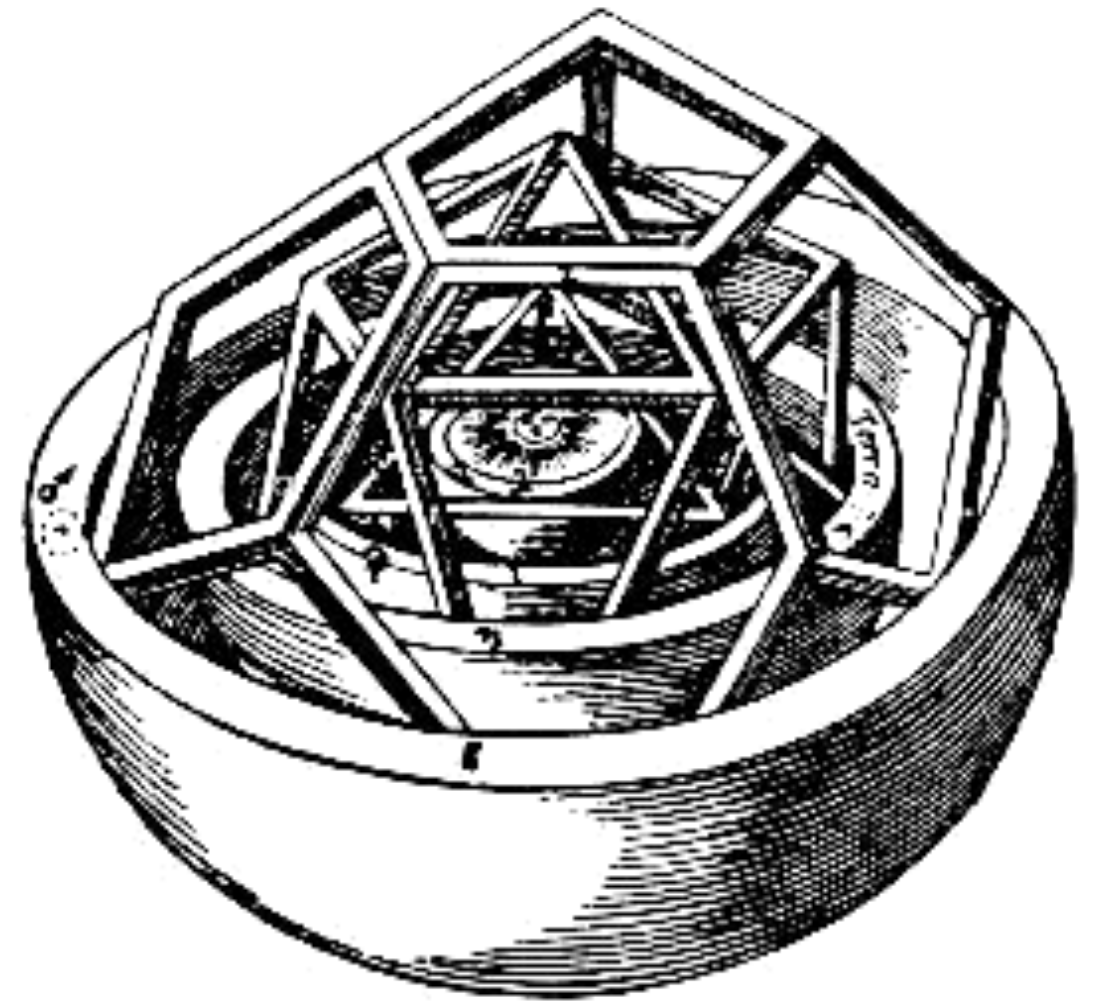
요하네스 케플러(1571-1630)

.....

- ▶ 독일의 수학자/천문학자/점성술사로, 티코 사후 신성 로마 제국의 공식 천문학자가 됨
- ▶ 튀빙겐 대학의 수학 교수 미하엘 매스틀린으로부터 배운 후 코페르니쿠스주의자가 됨
- ▶ 열렬한 신플라톤주의자
 - ▶ 우주의 수학적 조화 탐닉
 - ▶ 태양이 행성 운동의 원인!
- ▶ 1600년 티코의 조수가 되어, 1601년 티코 사후 관측 자료 물려받아 3가지 법칙 제안
- ▶ 《우주의 신비》(1696), 《새로운 천문학》(1609), 《우주의 조화》(1619)



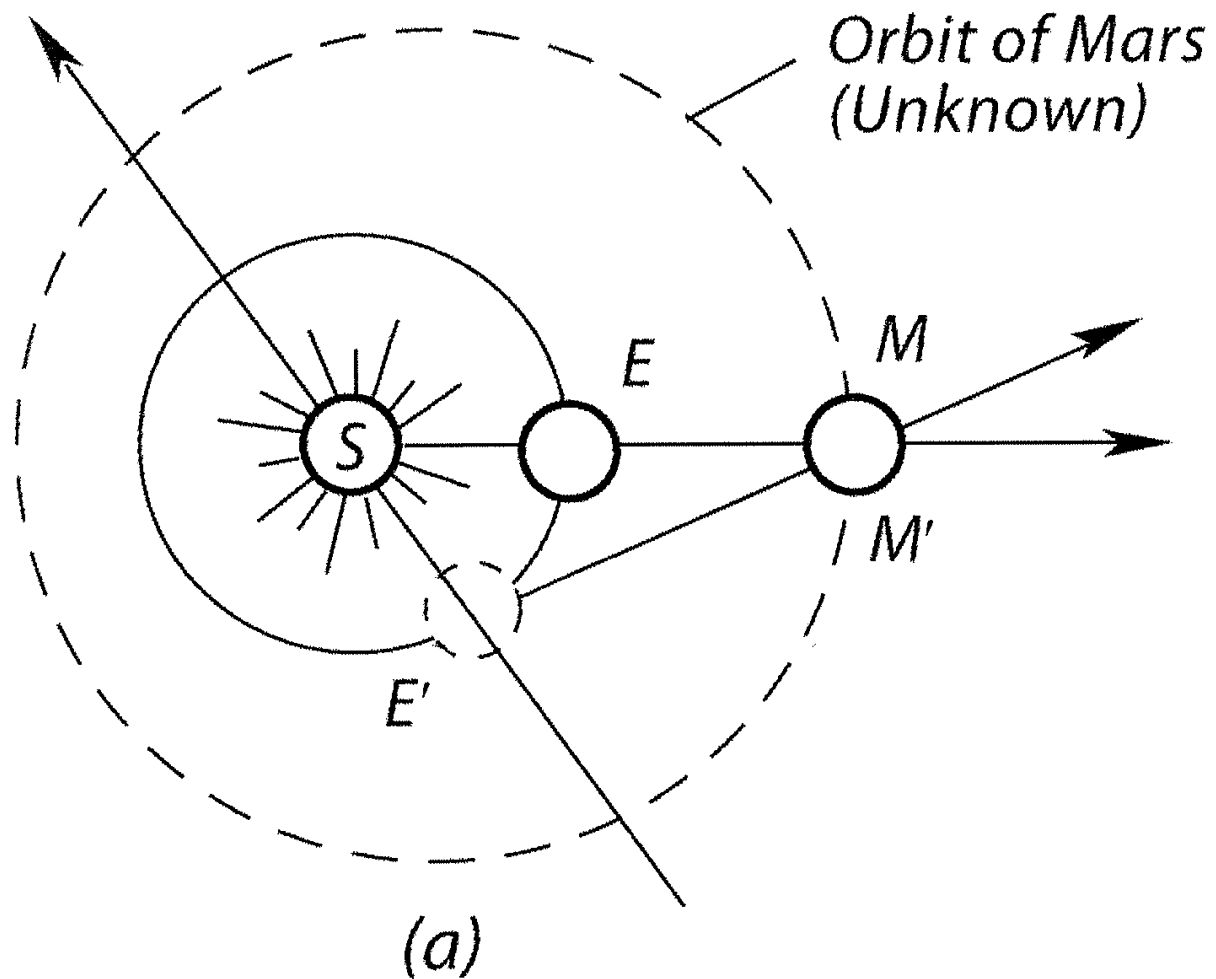
《우주의 신비》(1596)



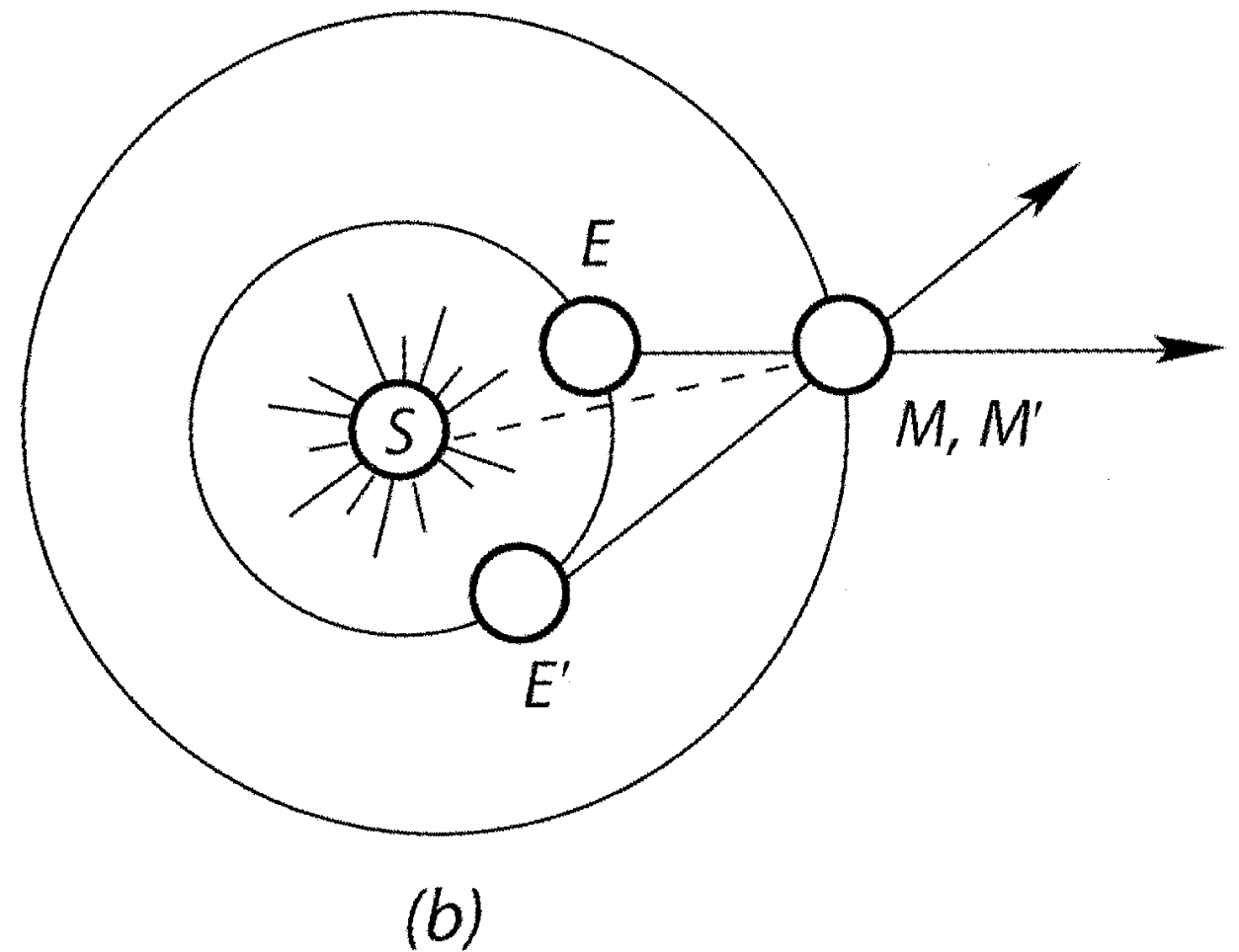
- ▶ 젊은 시절부터 태양중심설 옹호
- ▶ 행성의 궤도 크기 설명 가능
- ▶ 행성이 6개뿐인 이유 설명 가능

화성과의 전쟁 : 티코의 자료를 이용한 작도와 다양한 가설

.....

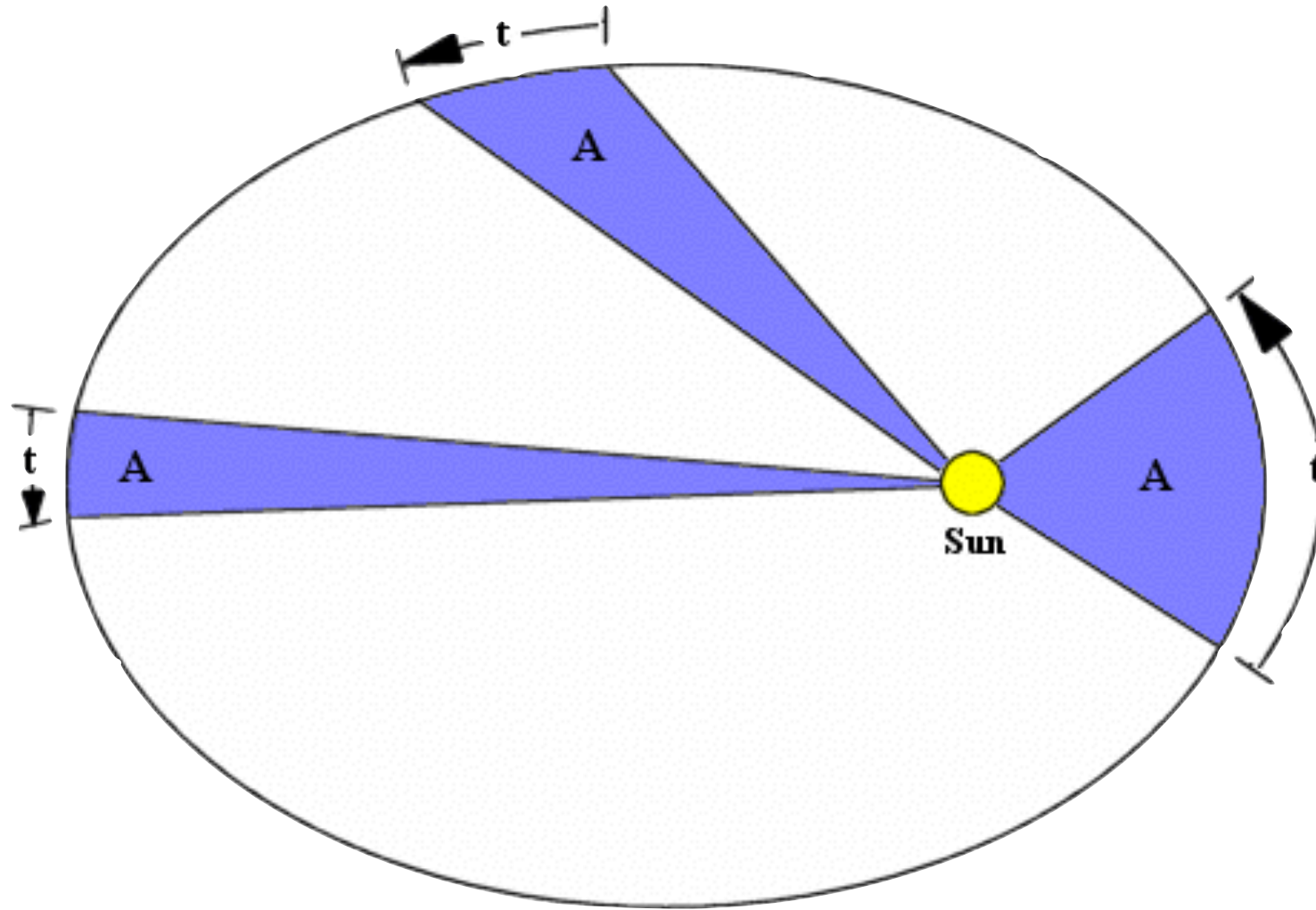


지구 궤도의 작도



화성 궤도의 작도

《새로운 천문학》(1609)

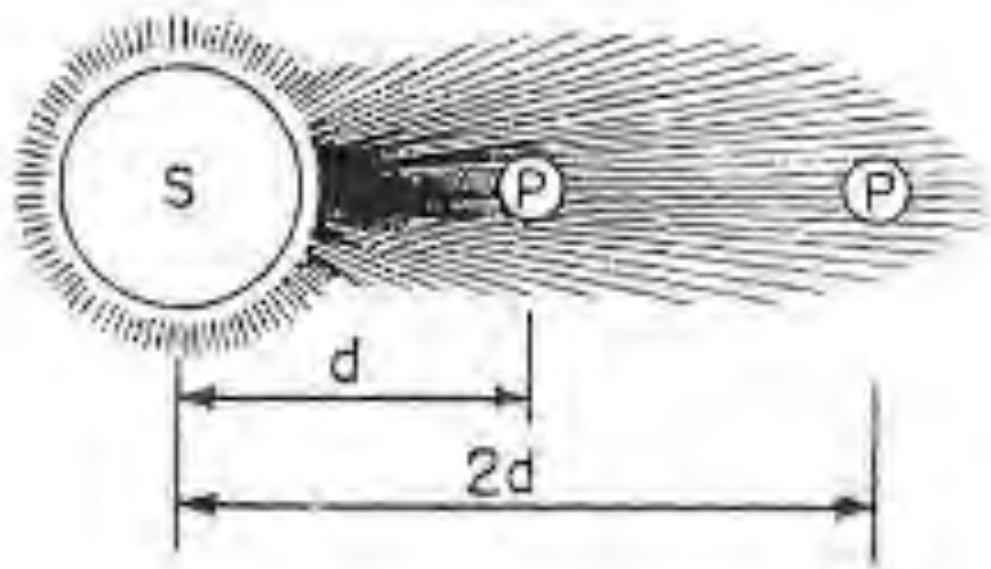


1. (타원 궤도 법칙) 행성은 태양을 한 **초점**으로 하는 타원궤도를 그리면서 공전한다.
2. (면적 속도 법칙) 행성과 태양을 연결하는 가상적인 선분이 같은 시간 동안 쓸고 지나가는 면적은 항상 같다.

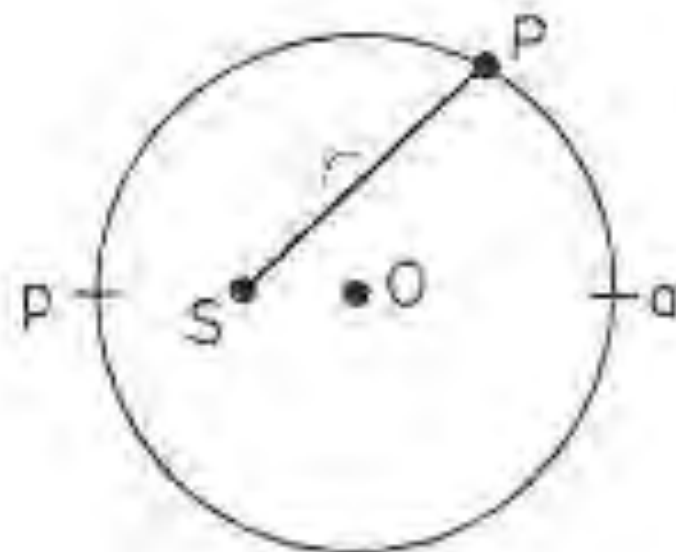
자료와 2' 이내의 오차!

부등속 비원형 궤도 발견의 원천

- ▶ 티코의 정밀한 관측 자료(4' 이내의 오차!)
- ▶ 태양이 행성 운동의 원인이라는 믿음
- ▶ '단순한 기하학적 도형'으로 이루어진 궤도에 대한 믿음



(a)

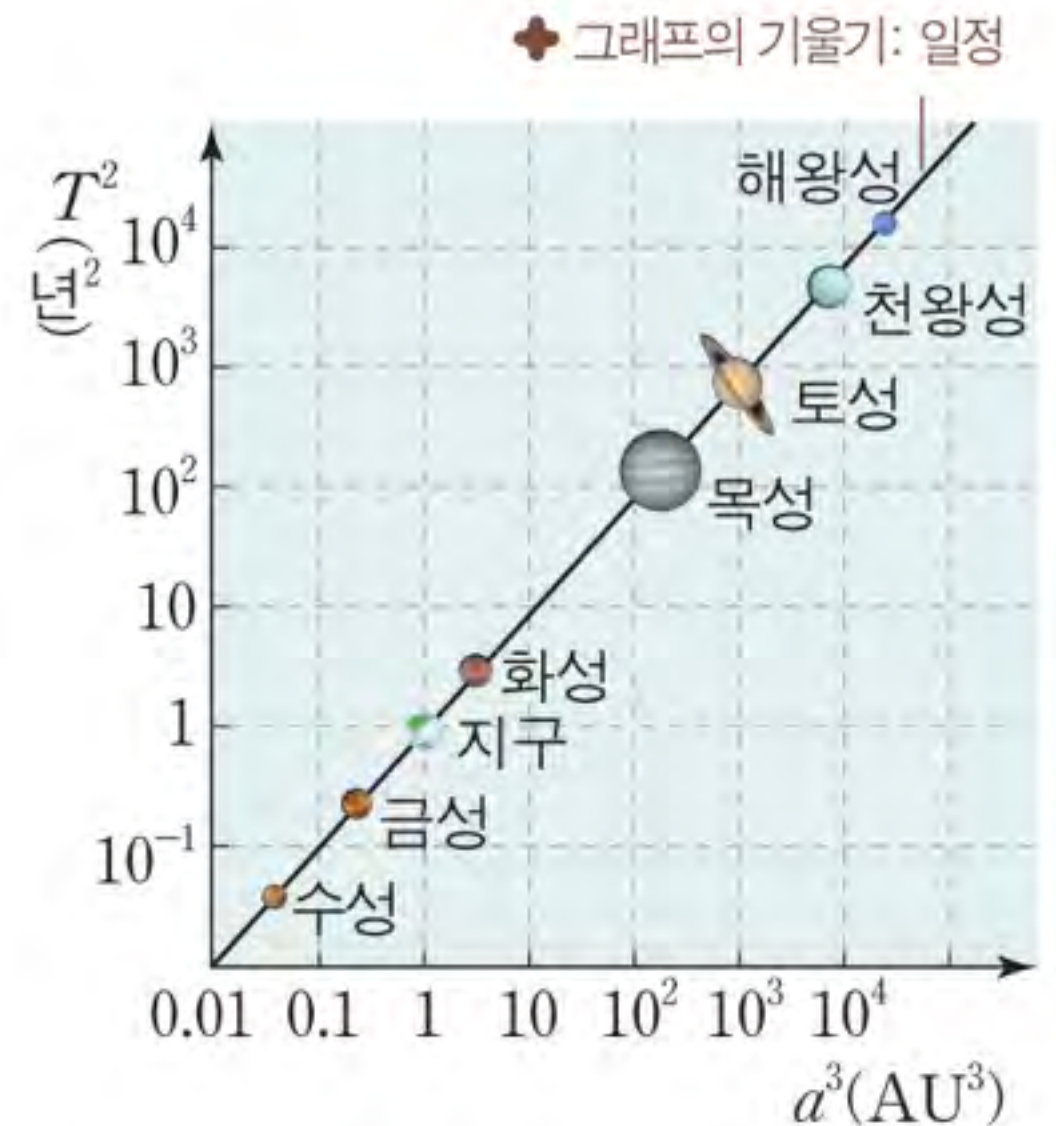
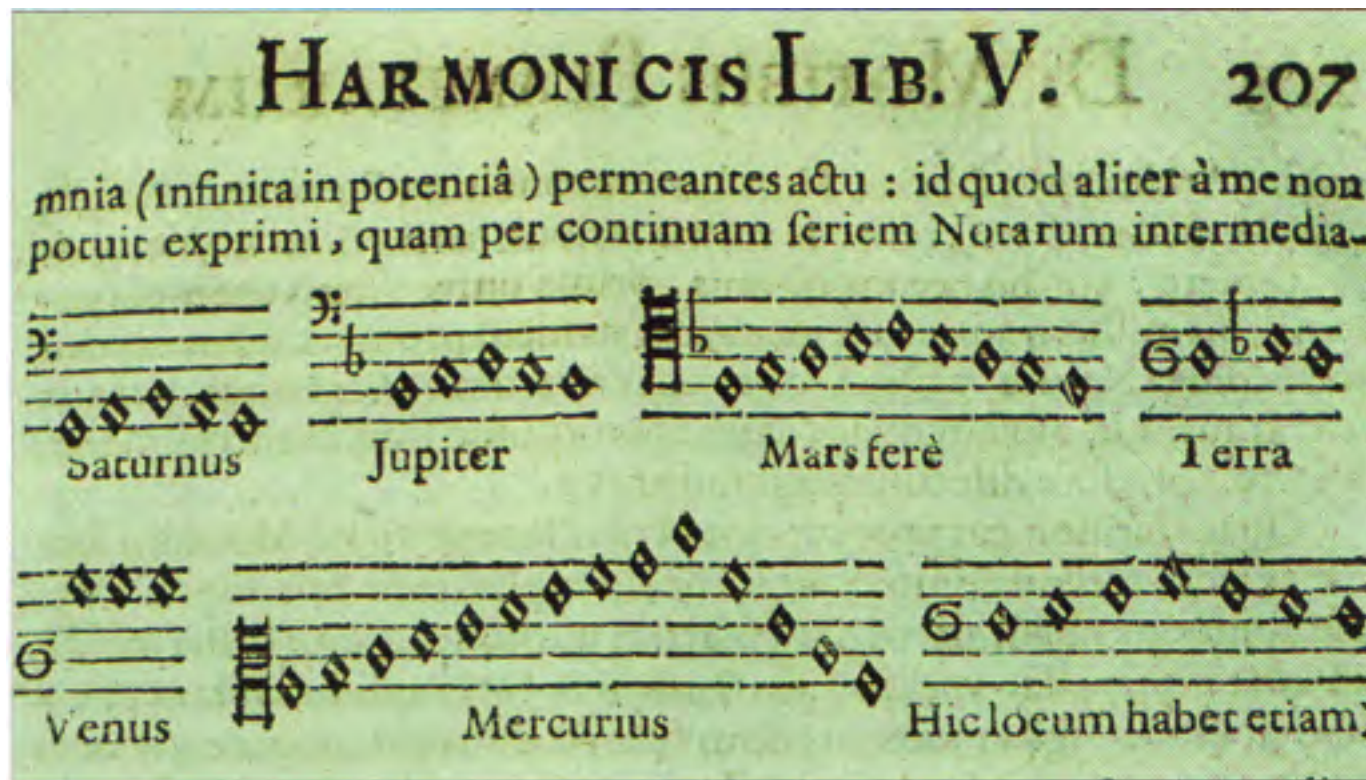


$$v \propto \frac{1}{r}$$

(b)

《우주의 조화》(1619)

- ▶ 행성들에 의해 연주되는 우주 음악의 화음을 찾아내려는 시도
- ▶ 연구의 부산물로서 ‘조화의 법칙’ 발견 : $T^2 \propto R^3$



엄청난 정확성!

.....

고대 이집트	365일	
히파르코스(BC 2세기)	365.25일	율리우스력(BC 46년)
프톨레마이오스(AD 2세기) 알폰소 천문표(13세기)	365.24255일	그레고리력(1582년) 365.2425일
코페르니쿠스(1543) 프로이센 천문표(1551)	365.24720일	
케플러 루돌프 표(1627)	365.24219일	
2000년 관측치	365.2421897일	
2010년 관측치	365.2421891일	

케플러에 대한 반응

- ▶ 엄청난 정확성에 대한 찬사
- ▶ 1627년에 발표한 <루돌프 표>는 천문학자의 필수품이 됨
- ▶ 신비주의적인 면모에 대한 경계
- ▶ 부등속 비원형 행성 운동의 원인에 의문



갈릴레오 갈릴레이(1564-1642)

- ▶ 이탈리아의 철학자/수학자/천문학자
- ▶ 피사 대학의 수학 교수로 재직하던 중 1609년 망원경을 통해 발견한 목성 위성을 메디치 가문에 헌정하여 메디치 가문의 궁정 철학자가 됨
- ▶ 망원경 관측과 운동에 대한 새로운 관념을 통해 코페르니쿠스주의를 변호하고자 했음.
- ▶ 1632년 출판한 <두 주된 우주 체계에 관한 대화> 때문에 종교재판을 받고 죽을 때까지 가택연금 당함
- ▶ <별의 전령>(1610), <두 주된 우주 체계에 관한 대화>(1632), <새로운 두 과학>(1638)



젊은 시절의 갈릴레오

.....

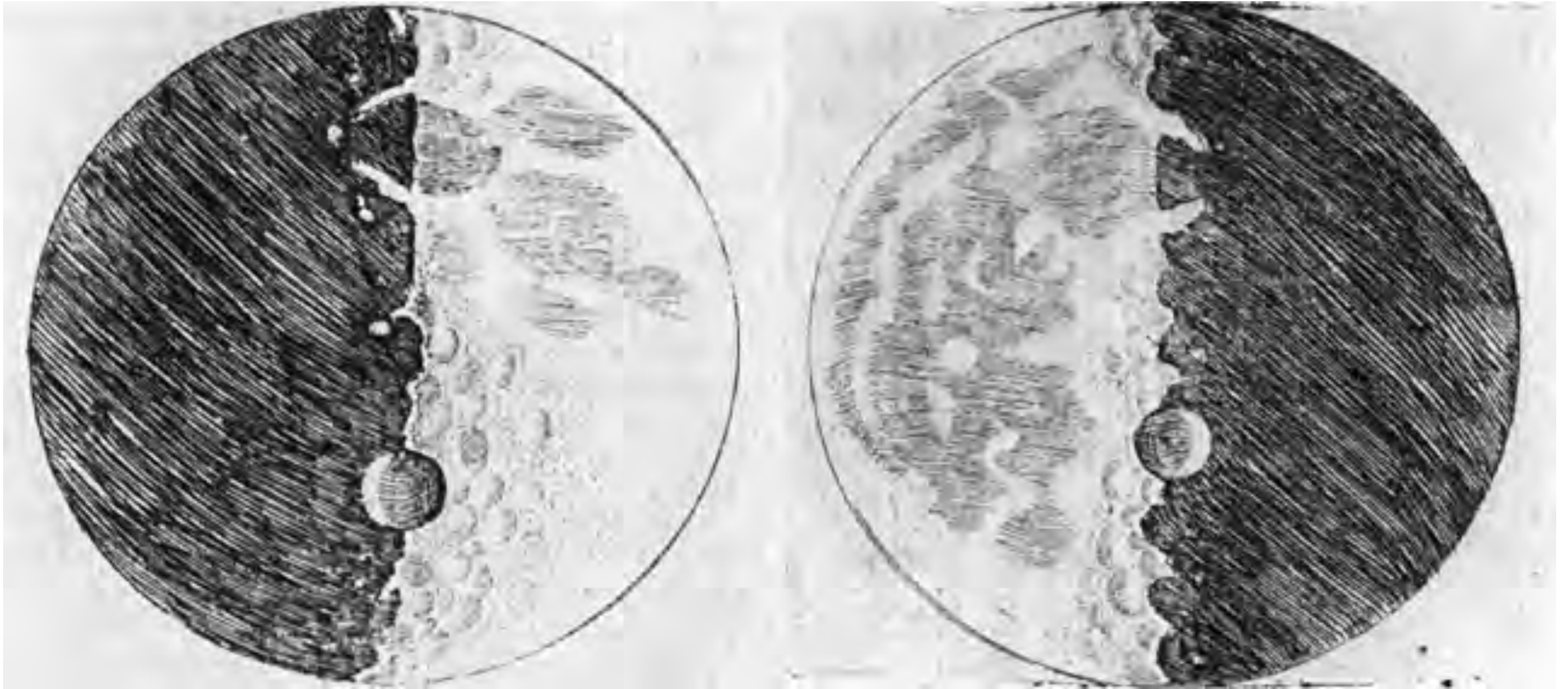
- ▶ 아리스토텔레스에 대한 불만
 - ▶ 아리스토텔레스주의 물리학의 내적 비일관성 파헤침
 - ▶ 임페투스 이론 발전시킴
- ▶ 경제적 어려움
 - ▶ 피사 대학의 수학 교수
 - ▶ 기구 제작 및 하숙
 - ▶ 개인교사
 - ▶ 메디치의 후계자 코시모

갈릴레오의 망원경



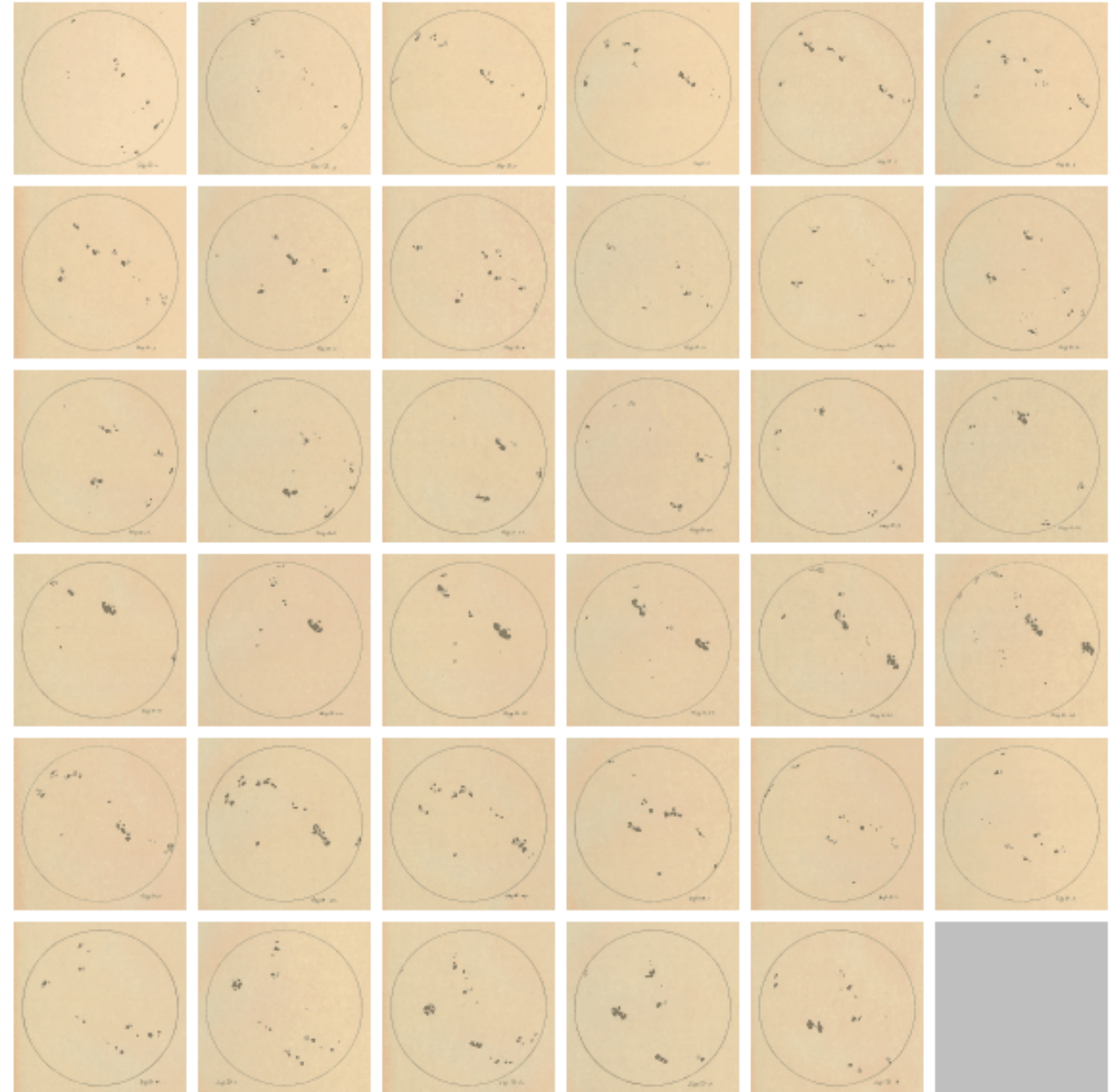
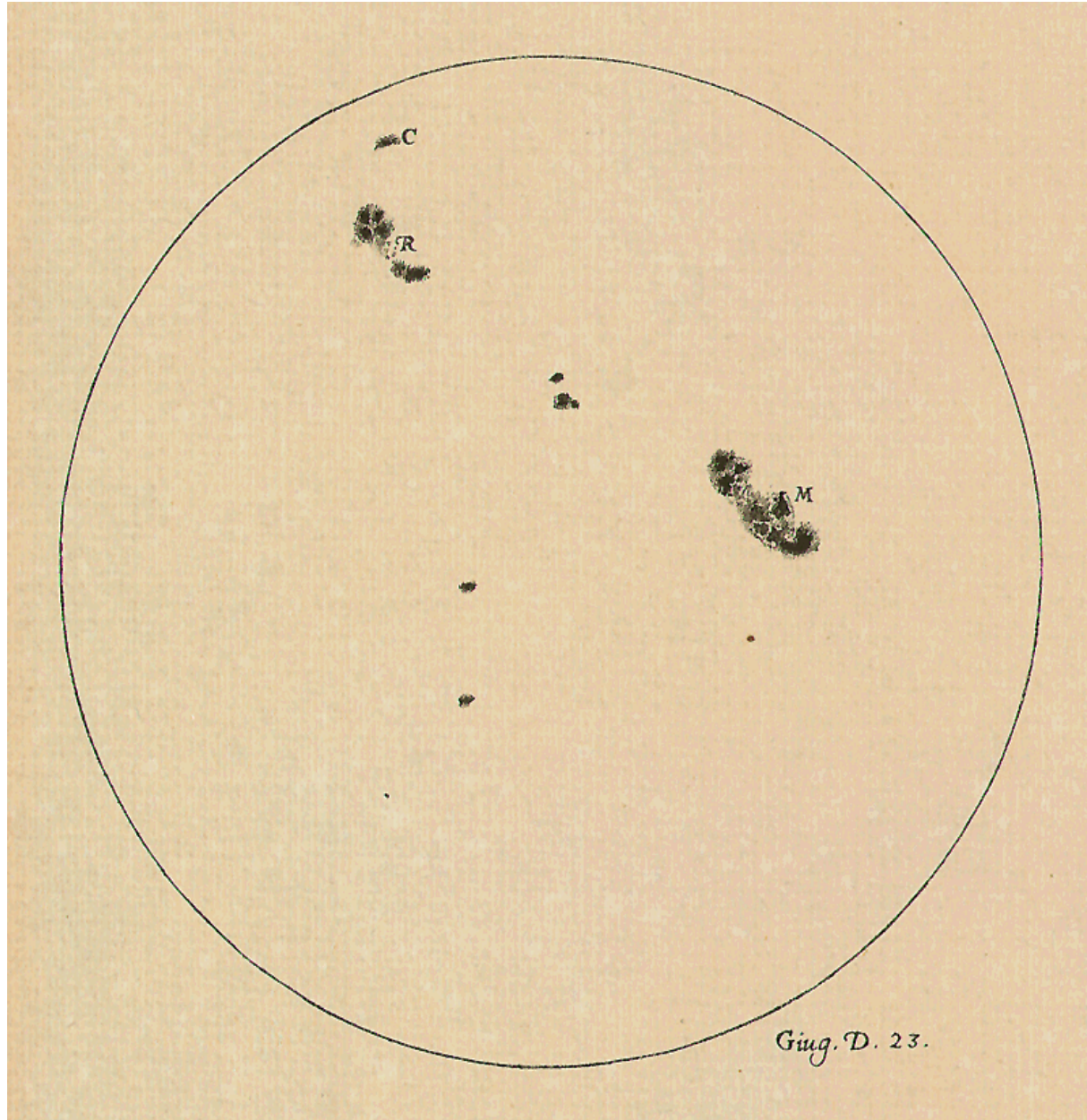
울퉁불퉁한 달

.....



태양의 흑점

.....



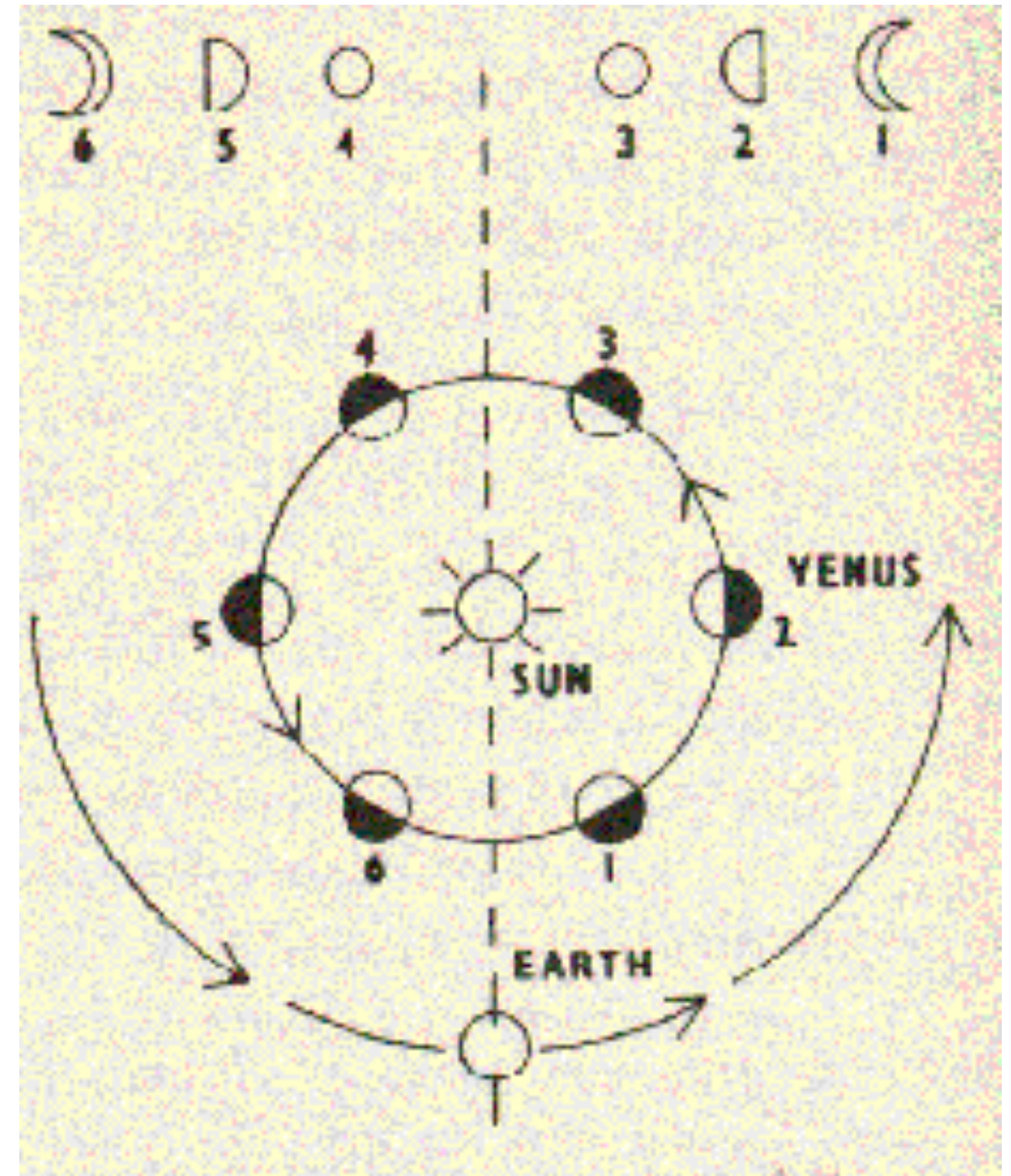
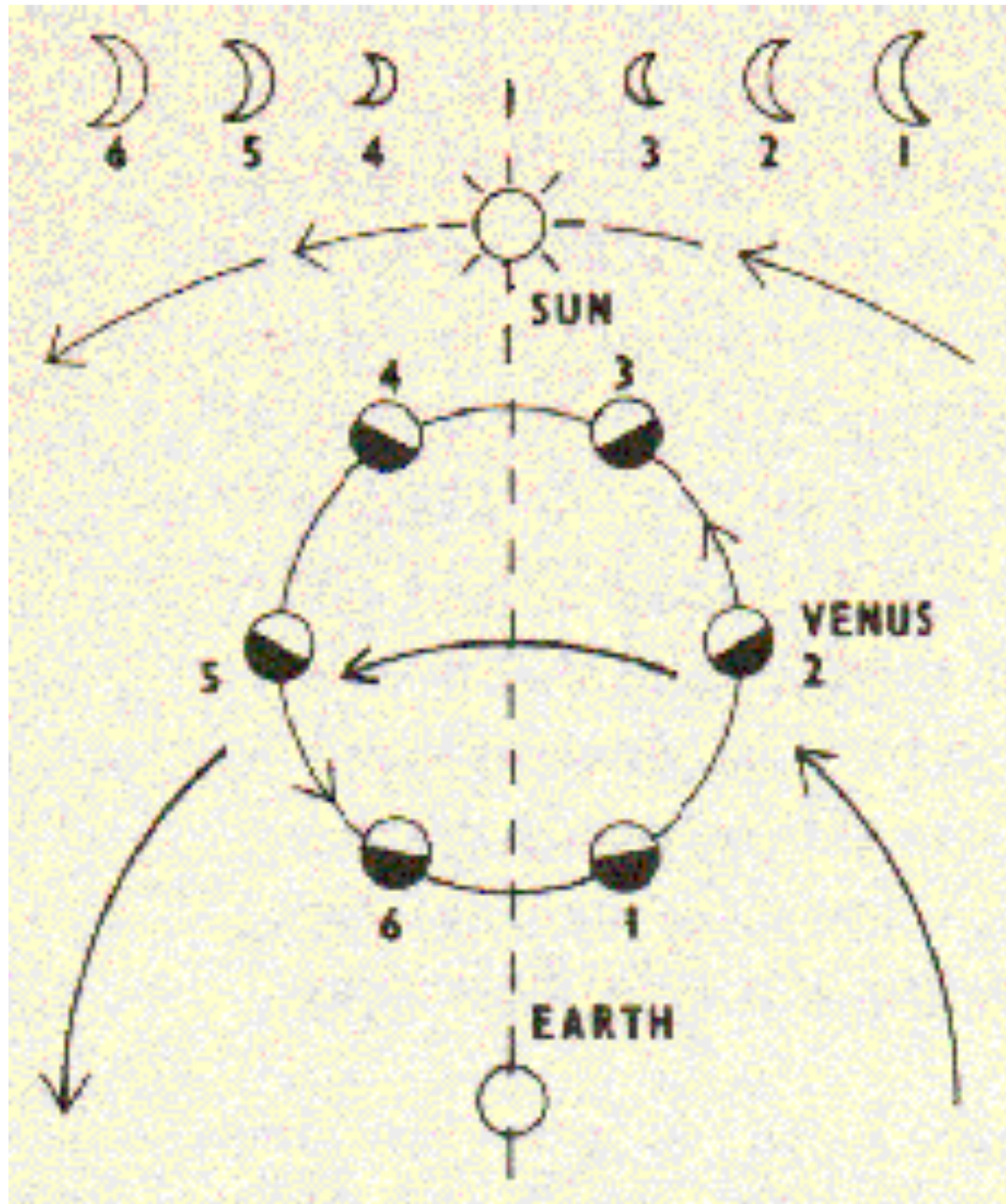
목성의 위성

7	• • ○ •	17	• • ○
8	○ • • •	18	• • ○
9	• • • ○	19	• • ○ • •
10	• • • ○	20	• • ○ • •
11	• • • ○	21	• • ○ • •
12	• • • ○	22	• • ○ • •
13	• • • ○	23	• • ○ • •
14	○ • • • •	24	• • ○ • •
15	○ • • • •	25	• • ○ • •
16	○ • • • •	26	• • ○ • •
17	• • ○ • •	27	• • ○ • •



금성의 위상 변화

.....





갑작스런 저항

.....

- ▶ 메디치 가문을 등에 업은 갈릴레오는 코페르니쿠스주의를 강력하게 옹호하기 시작
- ▶ 가톨릭 지도자를 비롯해 대중과 지식인의 광범위한 지지 받음
- ▶ 아리스토텔레스주의자들의 아우성
 - ▶ 지동설을 성서에 위배된다는 이유로 종교재판에 회부
 - ▶ 교리 책임자 벨라르미노 추기경의 완강한 태도. 왜?
 - ▶ 1615년 3월 15일 교황청은 코페르니쿠스 체계 오류 공포. <회전에 관하여>도 금서.
 - ▶ 갈릴레오는 비밀 서약을 맺음

“태양이 우주의 중심에 있고, 지구가 세 번째 하늘에 있으며, 태양이 지구 주위를 돌지 않고 지구가 태양 주위를 돈다는 진정한 증거가 있다면, 우리는 그 반대를 가르치는 것처럼 보이는 성서의 구절들을 설명하는 데 엄청난 주의를 기울여야 할 것이며, 우리는 참으로 증명된 견해를 거짓으로 선언하기보다 그 구절들을 이해하지 못했다고 인정하는 것이 나을 것입니다.

벨라르미노 추기경

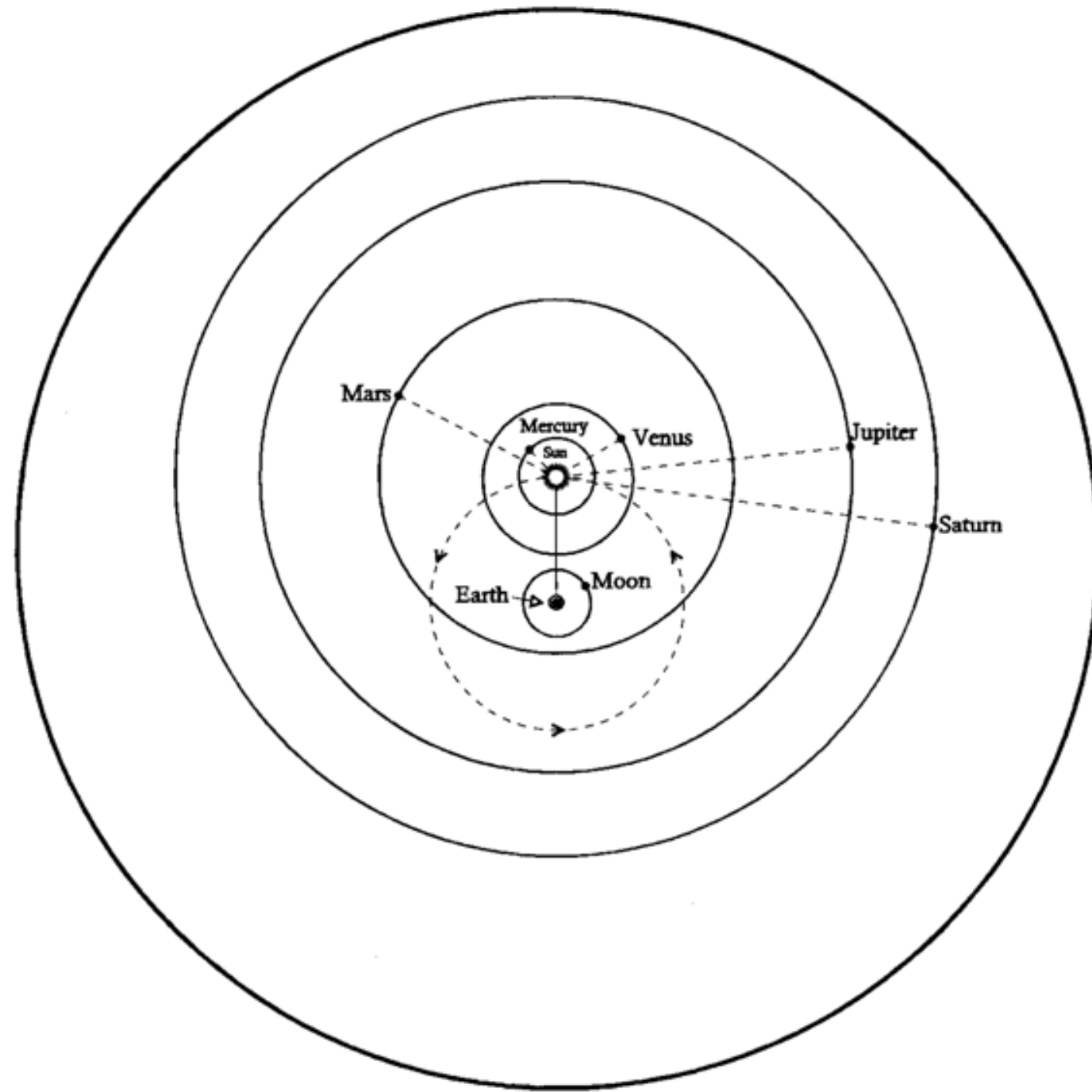
“

그러나 내 경우에, 나는 그 증명이 내게 보이기 전까지 그러한 증명이 있다고 믿지 않을 것입니다

벨라르미노 추기경

대안 가설의 존재!

.....



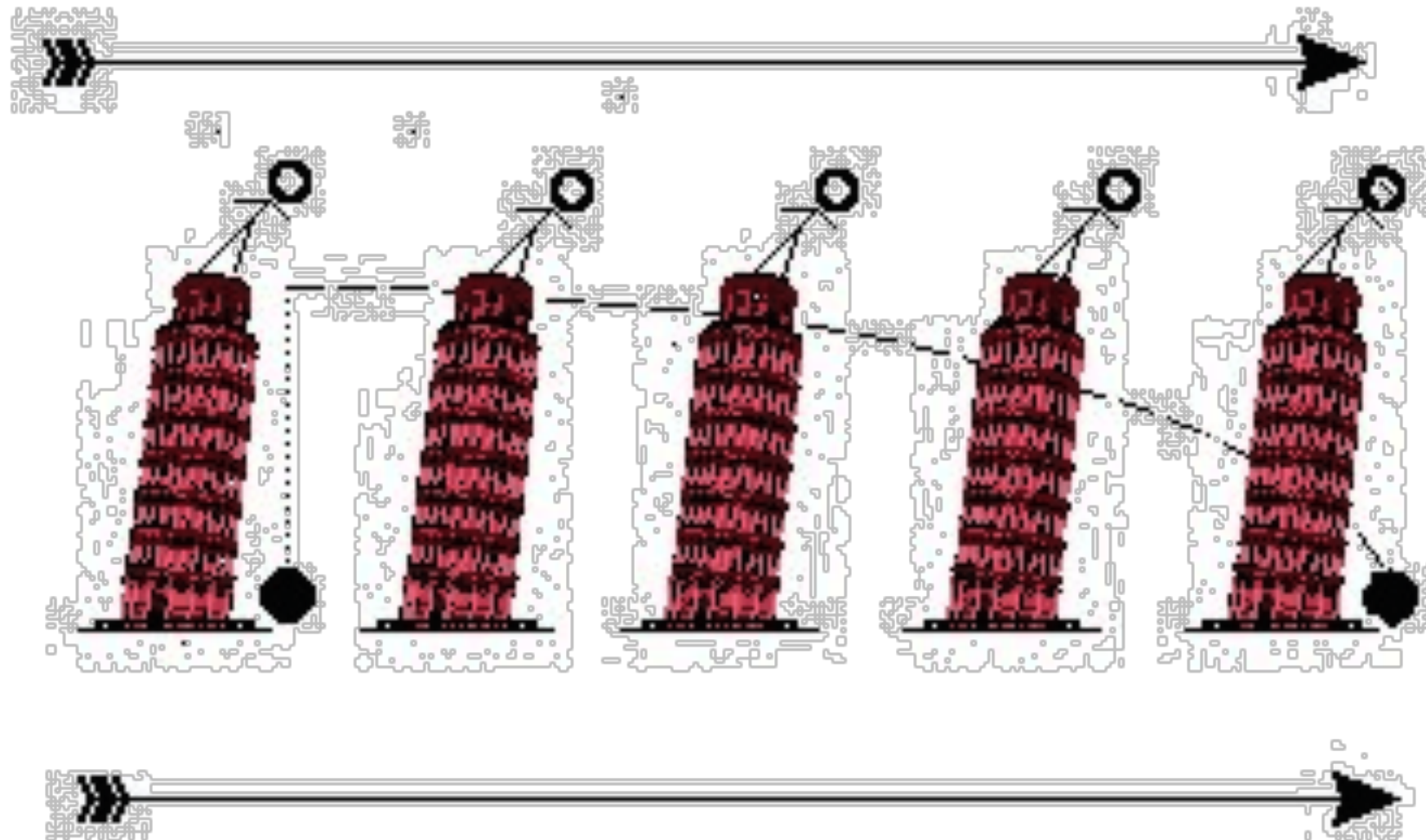
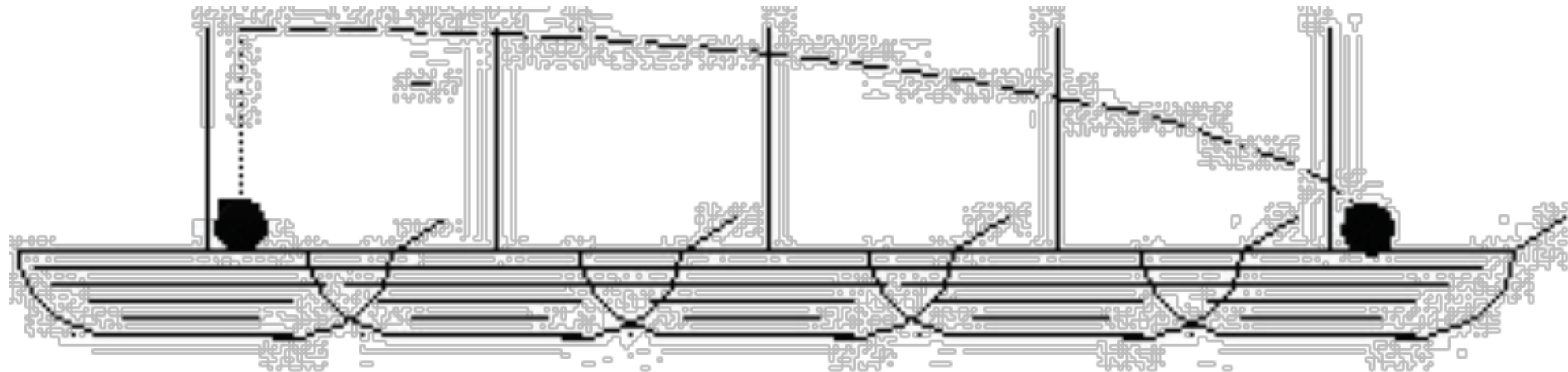


갈릴레오 새로운 반격

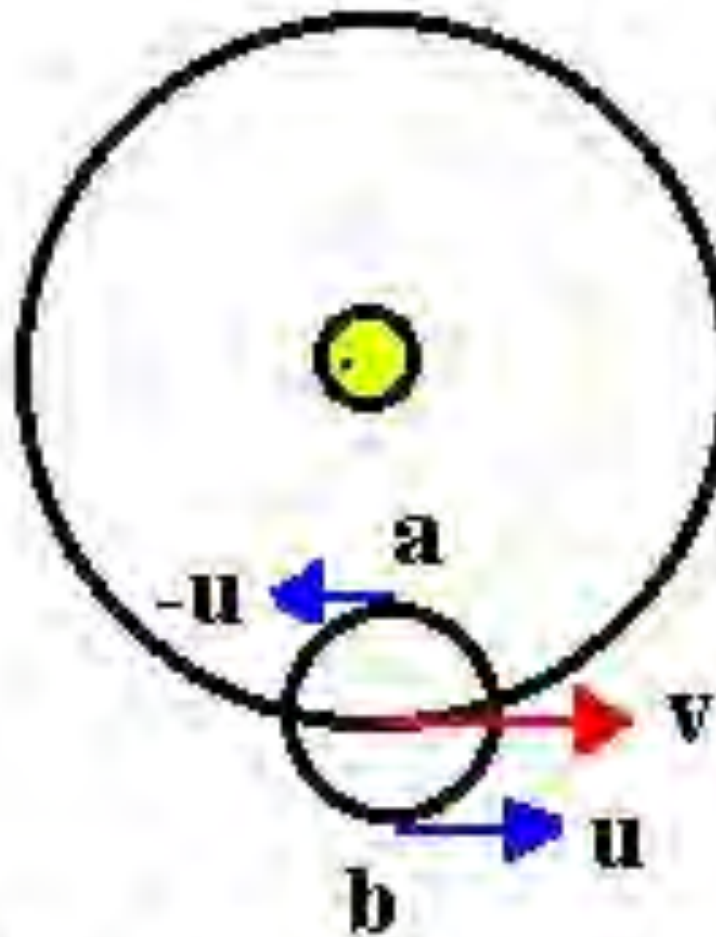
- ▶ 1623년 오랜 친구이자 후원자인 우르바누스 8세의 교황 즉위
- ▶ 교황청은 두 우주 체계를 공정하게 다룬다는 조건으로 갈릴레오의 책 출판을 허가함
- ▶ 완성된 <대화>는 두 우주구조가 모두 가설적인 것이라고 말해 1632년 교황청의 모든 검열을 통과
- ▶ 실제 내용은 프톨레마이오스 체계를 지지하는 바보스러운 심플리치오가 결국 코페르니쿠스 우주구조를 지지하는 살비아티와 중재자 역할의 사그레도의 협공에 설득당하는 것으로 그림으로써 새로운 우주구조의 우수성을 선전

관성 개념을 이용한 지구의 운동 변호

.....



지구의 운동을 통한 조수 설명



$s(a) = v - u$, $s(b) = v + u$
**s is the speed of the
water at points a and b.**

그러나 관찰과는 맞지 않았음

갈릴레오의 굴욕



소결

- ▶ 망원경과 새로운 운동 개념을 이용한 갈릴레오의 선전은 대중들과 지식인들에게 매우 효과적이었으며, 더 이상 코페르니쿠스주의는 저절로 사라질 일시적인 정신착란으로 간주될 수 없었음.
- ▶ 갈릴레오에 대한 처벌은 사실상 코페르니쿠스주의의 확대를 저지하는 데 효과가 없었음.
- ▶ 갈릴레오는 코페르니쿠스주의를 증명한 것은 아니었기 때문에, 코페르니쿠스주의에 대한 반대는 매우 합리적인 외양을 띌 수 있었음. 그러나 그 저항은 매우 극렬하게 나타남. 왜 그랬을까?